

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-146473
 (43)Date of publication of application : 07.06.1996

(51)Int.Cl. G02F 1/35
 H04B 10/20

(21)Application number : 06-285410 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
 <NTT>

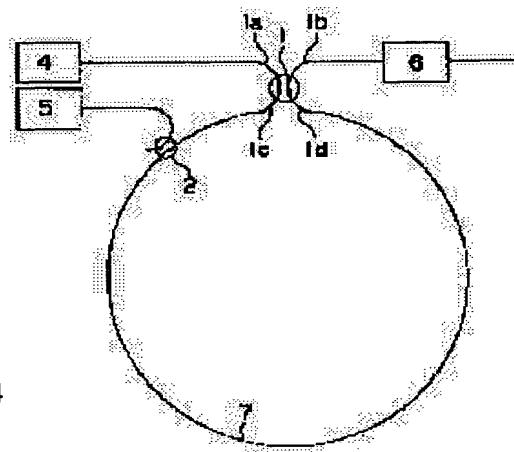
(22)Date of filing : 18.11.1994 (72)Inventor : YAMADA HIDEKAZU
 SUZUKI KAZUNOBU
 NAKAZAWA MASATAKA

(54) OPTICAL SIGNAL PROCESSOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an optical signal processor using a nonlinear loop mirror to enable ultra-high speed switching without increasing a pulse width.

CONSTITUTION: This optical signal processor is composed of a 3dB coupler 1 having a coupling rate of 1:1 and an optical fiber loop (nonlinear loop) 7 consisting of a zero dispersion dispersion flat optical fiber connected to both output terminals 1c, 1d of the 3dB coupler 1. The one phase of the signal light 4 branched by the 3dB coupler 1 is changed by the nonlinear optical effect of the control light 5 entering via a wavelength multiplex coupler 2 and is propagated through the nonlinear loop 7 in directions opposite to each other and is then recoupled by the 3dB coupler 1. The signal light 4 is thus switched by the presence or absence of the control light 5 and is emitted from the terminal 1b. As a result, the ultra-high speed light signal processing is made possible and the ultra-high speed optical signal processor and more particularly optical DEMUX device are inexpensively provided.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.10.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 23.04.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-146473

(43)公開日 平成8年(1996)6月7日

(51)Int.C1.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 02 F 1/35

H 04 B 10/20

H 04 B 9/00

N

審査請求 未請求 請求項の数1

O L

(全8頁)

(21)出願番号 特願平6-285410

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(22)出願日 平成6年(1994)11月18日

(72)発明者 山田 英一

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 鈴木 和宣

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 中沢 正隆

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本
電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 吉田 精孝

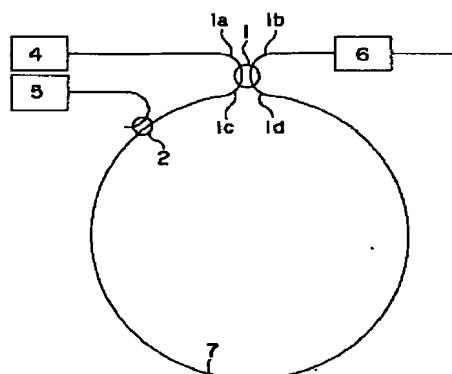
(54)【発明の名称】光信号処理装置

(57)【要約】

【目的】 パルス幅が広がらず超高速なスイッチが可能な非線形ループミラーを用いた光信号処理装置を提供する。

【構成】 結合率が1:1の3dBカプラ1と、3dBカプラ1の両出力端子1c, 1dに接続された零分散分散フラット光ファイバからなる光ファイバループ(非線形ループ)7とから構成し、3dBカプラ1によって分岐された信号光4の一方の位相を、波長多重カプラ2を介して入射した制御光5による非線形光学効果によって変化させ、互いに逆方向に非線形ループ7を伝搬させた後に3dBカプラ1にて再結合することにより、制御光5の有無によって信号光4をスイッチさせ、端子1bから出射する。

【効果】 超高速な光信号処理が可能となり、超高速な光信号処理装置、特に光DEMUX装置を安価で提供することが可能になる。



1: 3dB カップラ

1a: 3dB カップラ端子

1b: 3dB カップラ端子

1c: 3dB カップラ端子

1d: 3dB カップラ端子

2: 波長多重カップラ

4: 高速信号光

5: 制御光

6: 光フィルタ

7: 零分散分散フラット光ファイバ
を用いた非線形ループ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 結合率が1:1の光カプラと、該光カプラの両出力端子に接続された光ファイバループにより構成され、前記光カプラによって分岐された信号光の一方の位相を制御光の入射による非線形光学効果により変化させ、互いに逆方向に前記光ファイバループを伝搬させた後に前記光カプラにて再結合することにより、前記制御光の有無によって前記信号光をスイッチさせる非線形ループミラー形の光信号処理装置において、前記光ファイバループを零分散分散フラット光ファイバを用いて構成したことを特徴とする光信号処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光信号の信号処理に係り、特に光通信信号の超高速時間多重分離を行える光信号処理装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、情報量の大容量化の要求に伴い、光通信の伝送速度は光ファイバの広帯域性を生かして高速化の一途をたどっている。例えば、100 Gbit/sを越えるような超高速光信号を光ファイバ中を伝送させることは決して困難なことではない。さらに、光通信路の送り及び受けとなる光変調器、光検出器、中継装置の高速化も著しいが、現状ではこれらの電気回路の動作速度は、10～20 Gbit/s程度であり伝送可能な光信号と電気回路の動作速度の間には差がある。

【0003】また、超高速光通信信号を現状の電気回路で受信するためには、受信部において光信号を光のまま分離して比較的低速の光信号に変換するといふいわゆる光分離技術が不可欠となる。

【0004】高速な光分離技術としては、ファイバ中の非線形光学効果を利用した非線形ループミラーを用いた光分離技術（光DEMUXともいう）が報告されている。

【0005】さらに、この技術は光サンプリング、光スイッチ、光演算、光分岐等の高速光信号処理に用いることができる。

【0006】ここで、従来の技術である非線形ループミラーを用いた光分離技術について簡単に説明する。図6は従来の非線形ループミラーを用いた光信号処理装置を示す構成図である。図において、1は結合率1:1の3dBカプラ（方向性結合器とも呼ばれる）、2は波長多重カプラ、3は非線形ループ（光ファイバループ）、4は高速信号光（以下、信号光と称する）、5は制御光、6は光フィルタであり、3dBカプラ1と非線形ループ3により非線形ループミラーが構成される。

【0007】ここで、3dBカプラ1は信号光4を5:0に分離し、波長多重カプラ2は3dBカプラ1によって分離された一方の信号光と制御光5を合波する。

10

【0008】制御光5の入力がない場合、3dBカプラ1の端子1aから入射した信号光4は、3dBカプラ1の端子1c及び端子1dに分けられ非線形ループ（光ファイバループ）3を左回り及び右回りに伝搬し、両者同時に再び3dBカプラ1に入射する。この際、3dBカプラ1からは、これら非線形ループ（光ファイバループ）3を左回り及び右回りに伝搬した信号光の干渉により端子1aにのみに信号光が出力され、端子1bには出力されない。即ち、信号光4の入力側から見ると信号光4は3dBカプラ1と非線形ループ3からなる非線形ループミラーにより反射される。これがループミラーと呼ばれる由縁である。

【0009】パルス状の強い制御光5の入力がある場合には、3dBカプラの端子1cから左回りに伝搬する信号光4のうち制御光5に重なった部分は、光ファイバループ3を伝搬中に非線形光学効果の一つである相互位相変調効果により制御光5の強度に比例した位相の変化が生じる。

【0010】非線形光学効果を利用していいるため、この光ファイバループ3を非線形ループといふのである。そして、再び3dBカプラ1に入射した際に、位相の変化が生じた部分のみが3dBカプラ1における干渉により端子1bに出力される。即ち、制御光5と重なった信号光4の部分のみを端子1bに分離することができる。光フィルタ6は光波長フィルタであり、3dBカプラ1の端子1bから出力された信号光から制御光5を取り除き、分離された信号光部分のみを透過させて取り出すためのものである。

【0011】超高速の光分離を行うためには、光スイッチ速度が制御光パルス幅で制限されるため、制御光5として細い（幅の狭い）パルスが必要とされる。

【0012】また、超高速の光スイッチを行うためには、制御光5と信号光4との間の伝搬速度の差（ウォーターオフと呼ぶ）が小さくなければならない。何故なら、制御光5と信号光4との重なり部分が伝搬中にずれてしまうとそれだけスイッチのゲート幅が広がってしまうからである。

【0013】このため、非線形ループ3として図7の様な遅延時間特性を持つ分散シフトファイバが用いられてきた。図7において、横軸は光の波長を表し、縦軸は非線形ループ3における光の遅延時間及び群速度分散を表す。

【0014】即ち、分散シフトファイバの零分散波長を信号光4と制御光5の中間に位置するように設定した分散シフトファイバを用い、信号光4の遅延時間と制御光5の遅延時間を等しくするものである。

【0015】これにより、制御光5と信号光4は伝搬中にずれることがないため、制御光5のパルス幅で決まる速さで光分離を行なうことができる。ここで、図7に示している群速度分散は群速度（遅延時間の逆数に比例）

50

の波長微分であり、その波長におけるパルスの広がりの程度を表すものである。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述した従来の零分散波長を信号光4と制御光5の中間に位置するようにして設定した分散シフトファイバを非線形ループ3として用いる方法では、群速度分散値はおよそ0.065ps/km/nm²程度の傾きをもつため、信号光4及び制御光5の波長での群速度分散値がゼロにならない。このため、信号光4或いは制御光5のパルスが非線形ループ3を伝搬中に広がってしまい、入射パルス幅ほどの高速のスイッチが実現できないという欠点が*

$$t_{out} = [t_{in}^2 + \{(2 \ln 2 / \pi)(1/t_{in})(\lambda^2/c)DL\}^2]^{1/2} \dots (1)$$

で表される。ここで、入は波長、cは光速、Dは群速度分散である。

【0019】信号光波長が1.552μmであり、制御光波長が1.532μmの時、遅延時間を等しくするために、非線形ループ3として用いる分散シフトファイバの零分散波長を1.542μmとすると、制御光波長における群速度分散はおよそ0.65ps/km/nmとなる。数値例として入射パルス幅を500fs(1fs=10⁻¹⁵秒)、L=100mとすると、非線形ループ3を出た後のパルス幅t_{out}は818fsまで広がってしまう。

【0020】以上の簡単な見積もりでは非線形ループ3内における非線形性によるパルスのスペクトルの広がりを考慮していない。これを考慮にいれると非線形ループ3を出た後のパルス幅t_{out}は、入射パルス幅の倍の1ps(1ps=10⁻¹²秒)程度まで広がってしまう。

【0021】本発明の目的は上記の問題点に鑑み、パルス幅が広がらず超高速なスイッチが可能な非線形ループミラーを用いた光信号処理装置を提供することにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の目的を達成するために、結合率が1:1の光カプラと、該光カプラの両出力端子に接続された光ファイバループにより構成され、前記光カプラによって分岐された信号光の一方の位相を制御光の入射による非線形光学効果により変化させ、互いに逆方向に前記光ファイバループを伝搬させた後に前記光カプラにて再結合することにより、前記制御光の有無によって前記信号光をスイッチさせる非線形ループミラー形の光信号処理装置において、前記光ファイバループを零分散分散フラット光ファイバを用いて構成した光信号処理装置を提案する。

【0023】

【作用】本発明によれば、制御光の入力がない場合、例えば光カプラの第1端子から入射した信号光は、該光カプラの第3及び第4の2つの端子に分けて出射され、それぞれ光ファイバループを左回り及び右回りに伝搬し、両者同時に再び前記光カプラに入射する。この際、前記

*あった。

【0017】一方、群速度分散が負の領域では自己位相変調効果により、パルス幅を広げない或いは狭めることが可能であるが、群速度分散が正の領域ではパルス幅が広がってしまうため、信号光4と制御光5のどちらかが必ず正の群速度分散領域になる従来の方法では、入射パルス幅を広げないような超高速のスイッチが実現できなかった。

【0018】入射パルス幅t_{in}のガウス形のパルスを長さLの非線形ループに入射すると、非線形ループ3を出た後のパルス幅t_{out}は次の(1)式

$$t_{out} = [t_{in}^2 + \{(2 \ln 2 / \pi)(1/t_{in})(\lambda^2/c)DL\}^2]^{1/2} \dots (1)$$

光カプラからは、前記光ファイバループを左回り及び右回りに伝搬した信号光の干渉により前記第1端子にのみに信号光が出力され、第2端子には出力されない。即ち、信号光の入力側(第1端子側)から見ると信号光は前記光カプラと光ファイバループからなる非線形ループミラーにより反射される。

【0024】一方、パルス状の強い制御光の入力がある場合には、例えば前記光カプラの第3端子から左回りに伝搬する信号光のうち制御光に重なった部分には、前記光ファイバループを伝搬中に非線形光学効果の一つである相互位相変調効果により制御光の強度に比例した位相の変化が生じる。そして、再び前記光カプラに入射した際に、位相の変化が生じた部分のみが前記光カプラにおける干渉により前記第2端子に出力される。即ち、制御光と重なった信号光の部分のみが前記第2端子に分離して出力される。

【0025】ここで、前記光ファイバループは零分散分散フラット光ファイバからなるので、制御光の波長と信号光の波長は遅延時間が等しくなる(ウォークオフがゼロである)。このため、制御光と信号光の重なり部分は前記光ファイバループを伝搬中にずれることなく超高速なスイッチが可能となる。さらに、制御光の波長と信号光の波長における群速度分散がともにほぼゼロであるので、制御光及び信号光のパルスは前記光ファイバループを伝搬中に広がることがない。このため、入射パルス幅で決まる極めて超高速なスイッチが可能となる。

【0026】また、制御光波長及び信号光波長の波長が多少ずれたとしても、広い波長範囲にわたって遅延時間の差及び群速度分散値はほぼゼロであるため、制御光波長及び信号光波長の波長の選択の幅が広がる。

【0027】

【実施例】以下、図面に基づいて本発明の一実施例を説明する。図1は本発明の一実施例を示す構成図である。図において、前述した従来例と同一構成部分は同一符号をもって表す。また、本実施例と従来例との相違点は従来例の非線形ループ3に代えて零分散分散フラット光ファイバを用いた非線形ループ7を用いたことにある。即

ち、1は3dBカプラ、2は波長多重カプラ、4は高速信号光、5は制御光、6は光フィルタ、7は零分散分散フラット光ファイバを用いた非線形ループである。ここで、3dBカプラ1と非線形ループ7により非線形ループミラーが構成される。また、零分散分散フラット光ファイバとは、周知のように零分散形光ファイバと分散フラット形光ファイバの双方の特性を合わせもつ光ファイバを言う。

【0028】さらに、波長多重カプラ2は、3dBカプラ1によって分離された一方の信号光と制御光5を合波するものであれば、波長多重カプラでなくとも3dBカプラ、6:4カプラ等でも良い。

【0029】本実施例の動作原理は、従来の技術で述べた通常の非線形ループミラーと同様であるが、制御光5と信号光4との間のウォークオフが小さく、かつ制御光5及び信号光4のパルス広がりが小さいことが特徴である。

【0030】図2は本発明の最も主要な特徴である非線形ループ7として用いられる零分散分散フラット光ファイバの遅延時間及び群速度分散特性の一例を示す図である。この例は零分散分散フラット光ファイバとして理想的な特性である。

【0031】この図2を用いて本発明の特徴を説明する。図2において、横軸は光の波長を表し、縦軸は非線形ループ7における光の遅延時間及び群速度分散を表す。非線形ループ7において制御光5の波長と信号光4の波長は遅延時間が等しい（ウォークオフがゼロである）ため、制御光5と信号光4の重なり部分は非線形ループ7を伝搬中にずれることなく超高速なスイッチが可能となる。さらに、制御光5の波長と信号光4の波長における群速度分散がともにゼロであるので、制御光5及び信号光4のパルスは非線形ループ7を伝搬中に広がることがない。このため、入射パルス幅で決まる極めて超高速なスイッチが可能となる。

【0032】また、制御光の波長及び信号光の波長が図2に示す位置なく、多少ずれていたとしても広い波長範囲にわたって遅延時間の差及び群速度分散値はゼロであるため、制御光波長及び信号光波長の波長の選択の幅が広がるという特徴も有している。

【0033】図3は本発明の最も主要な特徴である非線形ループ7として用いられる零分散分散フラット光ファイバの遅延時間及び群速度分散特性の他の例である。この例は、零分散分散フラット光ファイバとして比較的の作成が容易で現実的な特性である。

【0034】この図3を用いて本発明の特徴を説明する。図3において、横軸は光の波長を表し、縦軸は非線形ループ7における光の遅延時間及び群速度分散を表す。非線形ループ7において、制御光5の波長と信号光4の波長は遅延時間が等しい（ウォークオフがゼロである）。また、制御光5の波長及び信号光4の波長におけ

る群速度分散は、分散シフトファイバを用いた図7に示す従来例に比べて非常に小さいので、非常に短いパルスを用いてもこの波長におけるパルスの広がりは非常に小さくなり、非常に短いパルスはそのパルス幅のまま伝搬する。このため、入射パルス幅によって決まる非常に超高速なスイッチが可能となる。

【0035】前述した数値を用いて出力のパルス幅 t_{out} を見積ると次のようになる。即ち、信号光4の波長が1.552μmであり、制御光5の波長が1.532μmとすると、制御光5の波長における群速度分散はおよそ0.059ps/km/nmとなり、制御光5の波長における群速度分散は分散シフトファイバを用いた場合に比べて、1/10以下となる。

【0036】また、数値例として、入射パルス幅を500fs(1fs=10⁻¹⁵秒)、非線形ループ7の長さL=100mとすれば、出力のパルス幅は502fsと見積もることができ、非線形ループ7として零分散分散フラット光ファイバを用いた非線形ループミラーによるパルスの広がりは無視できるほど小さく入射パルス幅 t_{in} のまま伝搬することがわかる。

【0037】さらに、群速度分散の傾きが非常に小さいので、制御光波長及び信号光波長が正確に図3に示すような位置なく、多少ずれていたとしても遅延時間の差及び群速度分散値は非常に小さいため、制御光波長及び信号光波長の選択の幅が広がるという特徴を持っている。

【0038】逆に言い換えると制御光波長及び信号光波長がある決まった波長の場合、若干のパルス広がり及び若干のウォークオフ（これらはスイッチ速度の低下を意味するが）を許せば、零分散分散フラット光ファイバの零分散波長として比較的広い範囲の波長を許容することができる。このため、零分散分散フラット光ファイバの零分散波長の作製精度をゆるめることができ、本発明に用いる零分散分散フラット光ファイバの作製歩留まりをよくすることができるという特徴も有している。

【0039】尚、これまで制御光波長を短波長側、信号光波長を長波長側に設定したが、逆に制御光波長を長波長側、信号光波長を短波長側に設定しても本発明は有効である。

【0040】次に、実際の実験例を示し本発明が超高速動作が可能であることを実証する。図4に、実際の実験に非線形ループ7として用いられた零分散分散フラット光ファイバの遅延時間及び群速度分散特性を示す。ここでは、信号光4の波長を1.525μm、制御光5の波長を1.545μmと設定している。零分散分散フラット光ファイバを使用しているため、信号光4と制御光5との遅延時間の差は、500fs/km(1km伝搬したときに500fsのずれが生ずる)であり非常に小さい。

【0041】実験に用いた非線形ループ7の長さLが1

0.0 mであり、信号光4と制御光5との遅延時間の差（ずれ）は5.0 fs程度と非常に小さくなるため、信号光4と制御光5とのずれによる動作速度の低下がなく超高速な動作が可能である。

【0042】また、信号光4の波長における群速度分散は0.05 ps/km/nm、制御光5の波長における群速度分散は-0.08 ps/km/nmであり、これらは従来の技術で用いられていた分散シフトファイバによる非線形ループ3の値に比べると1/10程度であり、1 ps以下の制御光パルス及び信号光パルスであってもほとんど広がらない。

【0043】このため、制御光パルス及び信号光パルスの広がりにより動作速度の低下がなく、フェムト秒台の極めて超高速なスイッチ動作が可能となる。従来の技術の項で説明したように、従来の分散シフトファイバによる非線形ループ3を用いた光信号処理装置においては、ループを伝搬中に1 ps以上に広がってしまうため超高速動作は不可能であった。

【0044】図5に本発明を用いた実験結果を示す。図5の(a)が制御光パルス、図5の(b)がスイッチされた信号光である。尚、この実験は本発明の超高速光信号処理装置の性能を示すための実験であり、信号光として高速信号ではなく連続光を入射している。

【0045】本実験における装置構成は図1に示す構成と同様である。信号光4として連続光を入射し、制御光5としてパルス幅6.05 fsの光パルスを入射したとき、スイッチされた信号光として7.70 fsのパルスが得られた。制御光5は非線形ループ7を伝搬中に自己位相変調効果によりパルス幅が減少して、出力において4.40 fsのパルス幅であり、制御光5の広がりによる動作速度の低下はない。また、スイッチされた信号光は入射した制御光5と同程度のパルス幅であることから、制御光5と信号光との伝搬速度の差及び信号光の広がりは小さい。

【0046】以上のように実験によって、本発明の光信号処理装置を動作させ、非線形光ファイバループ7として零分散分散フラット光ファイバを用いることにより、実際に、制御光5と信号光4のパルス幅が広がらないこと及び制御光5と信号光4の伝搬速度の差がないことを

示し、動作速度の低下のないことを明らかにした。そして、本発明により、従来の技術で実現不可能であった1 ps以下、即ちフェムト秒のオーダーの超高速な信号処理が可能であることを実証した。

【0047】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、制御光及び信号光のパルス幅を広げることなく、かつ、制御光と信号光との遅延時間差のない、言い換えれば非常に超高速な信号処理、特に光DEMUXが可能となる。

10 従来の技術では不可能であった極めて超高速な信号処理が可能となる利点が生じる。

【0048】これにより、超高速な光信号処理が可能となり、超高速な光信号処理装置、特に光DEMUX装置を安価で提供することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例における非線形ループミラーを用いた光信号処理装置を示す構成図

20 【図2】本発明の一実施例における最も主要な特徴である非線形ループとして用いられる零分散分散フラット光ファイバの遅延時間及び群速度分散特性の一例を示す図

【図3】本発明の一実施例における最も主要な特徴である非線形ループとして用いられる零分散分散フラット光ファイバの遅延時間及び群速度分散特性の一例を示す図

【図4】本発明を用いた実際の実験に非線形ループとして用いられた零分散分散フラット光ファイバの遅延時間及び群速度分散特性を示す図

【図5】本発明を用いた実験結果を示す図

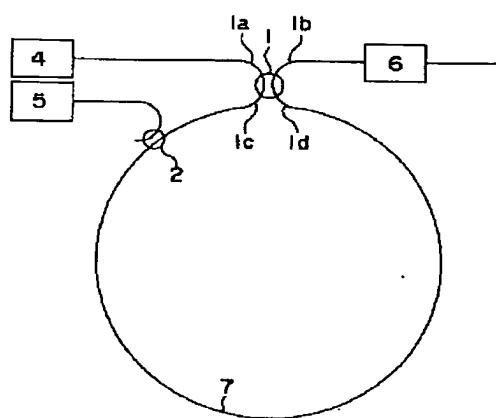
【図6】従来例の方法による非線形ループミラーを用いた光信号処理装置を示す構成図

30 【図7】従来例の方法において非線形ループとして用いられる分散シフトファイバの遅延時間及び群速度分散特性の例を示す図

【符号の説明】

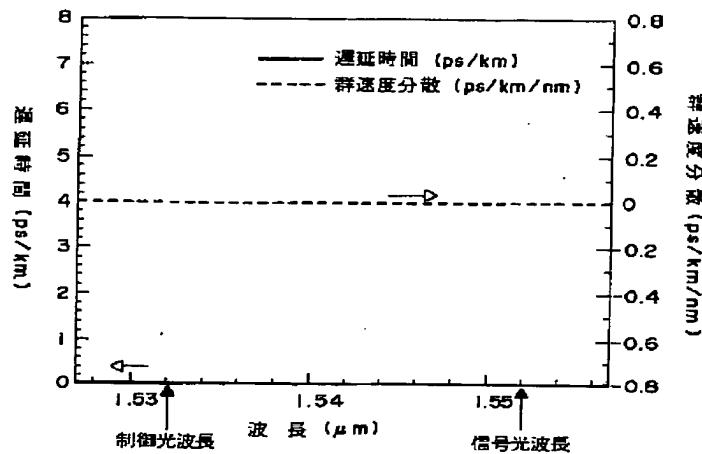
1…3 dBカプラ、1a…3 dBカプラ端子、1b…3 dBカプラ端子、1c…3 dBカプラ端子、1d…3 dBカプラ端子、2…波長多重カプラ、3…非線形ループ、4…高速信号光、5…制御光、6…光フィルタ、7…零分散分散フラット光ファイバを用いた非線形ループ。

【図1】

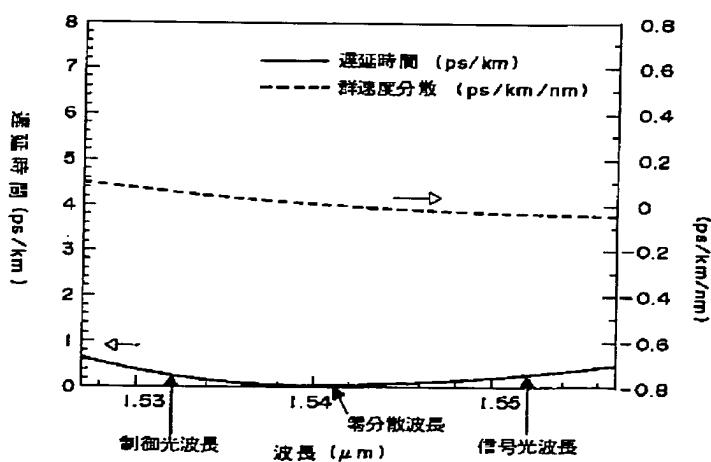


- 1 : 3 dB カップラ
- 1a : 3 dB カップラ端子
- 1b : 3 dB カップラ端子
- 1c : 3 dB カップラ端子
- 1d : 3 dB カップラ端子
- 2 : 波長多重カップラ
- 4 : 高速信号光
- 5 : 制御光
- 6 : 光フィルタ
- 7 : 零分散分散フラット光ファイバ
を用いた非線形ループ

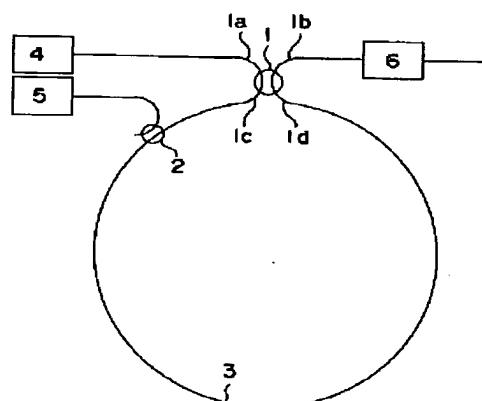
【図2】



【図3】

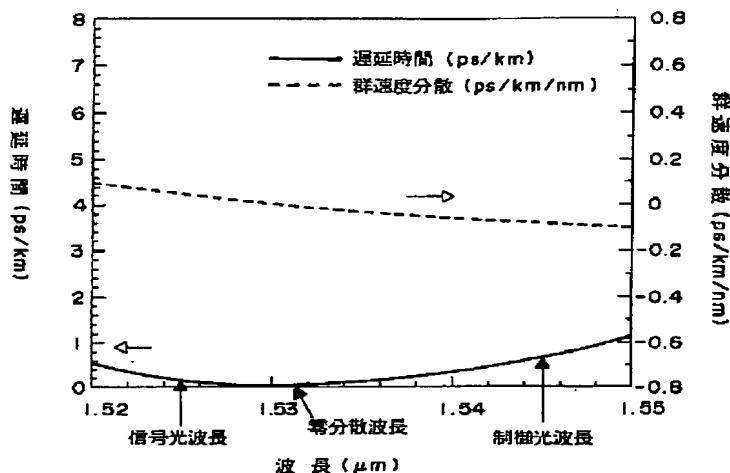


【図6】

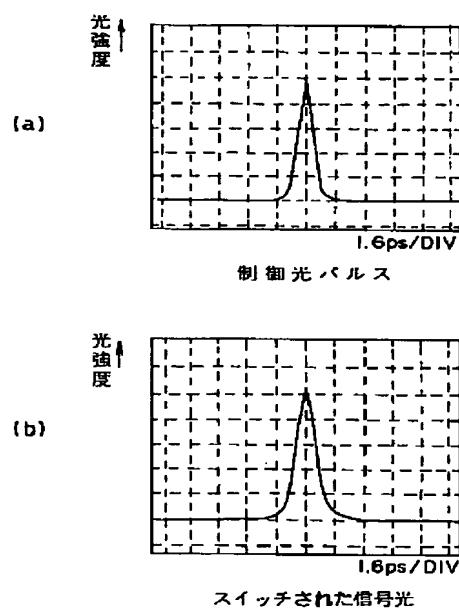


- 1 : 3 dB カップラ (結合率 1:1)
- 1a : 3 dB カップラ端子
- 1b : 3 dB カップラ端子
- 1c : 3 dB カップラ端子
- 1d : 3 dB カップラ端子
- 2 : 波長多重カップラ
- 3 : 非線形ループ
- 4 : 高速信号光
- 5 : 制御光
- 6 : 光フィルタ

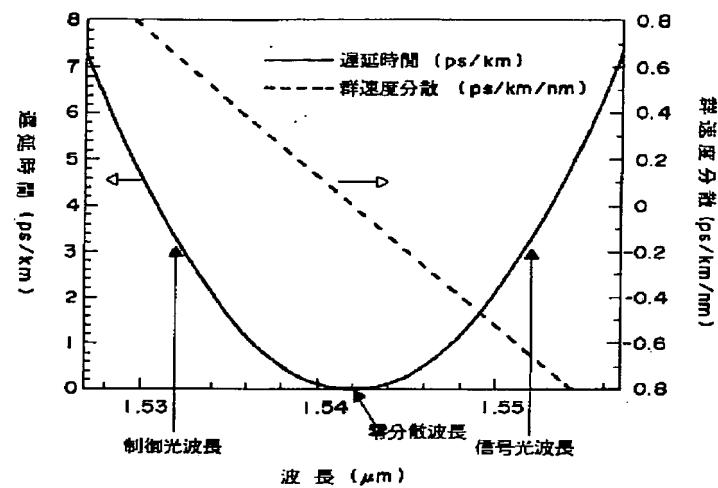
【図4】



【図5】



【図7】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)